



Quelle: voestalpine AG

Untersuchung des Wärmeübergangskoeffizienten und der Strömung in Sprühdüsenfeldern auf horizontalen Oberflächen

J. Hof, S. Ryll, B. Mehdi, D. Büschgens, C. Ende, E. Specht, H. Pfeifer

18. Oktober 2023



**4. Aachener Ofenbau- und
Thermoprozess-Kolloquium**
17. und 18. Oktober 2023

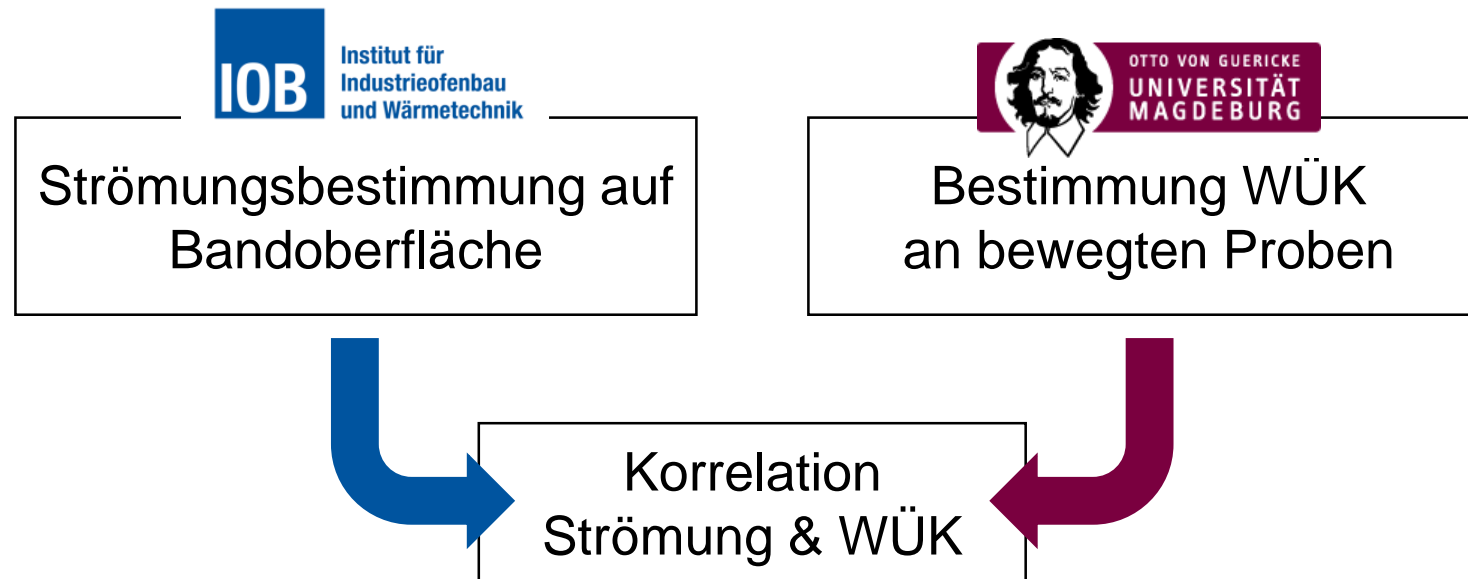


Institut für
Industriofenbau
und Wärmetechnik

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Projektübersicht / Projektidee

- Ausbildung und Einfluss der Strömung auf Bändern in kontinuierlichen Anlagen (z.B. auf Wärmestromdichten/Abkühlraten/Verformung/Gefügeausbildung)?



Fragestellungen

Der Wärmeübergang einer Einzeldüse ist sehr gut untersucht, der Wärmeübergang eines Sprayfeldes mit der gegenseitigen Beeinflussung ist dagegen nicht bekannt

Fragestellungen Wärmeübergang Düsenfeld:

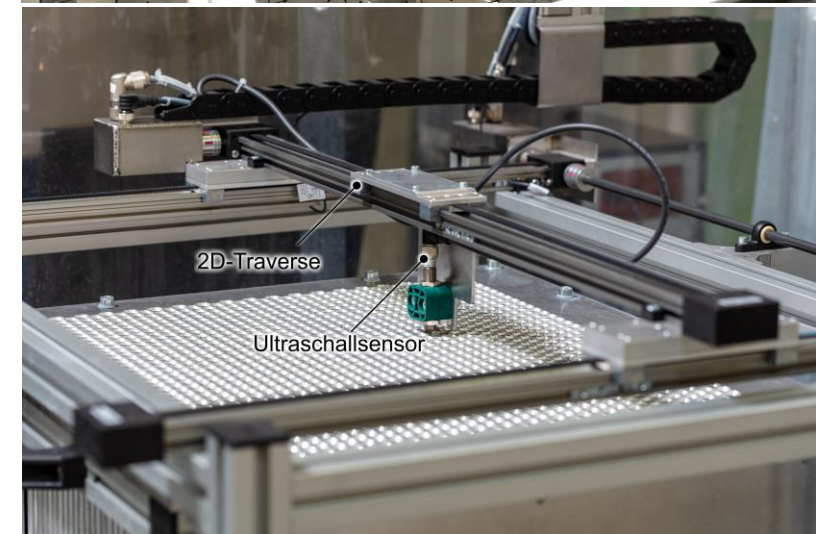
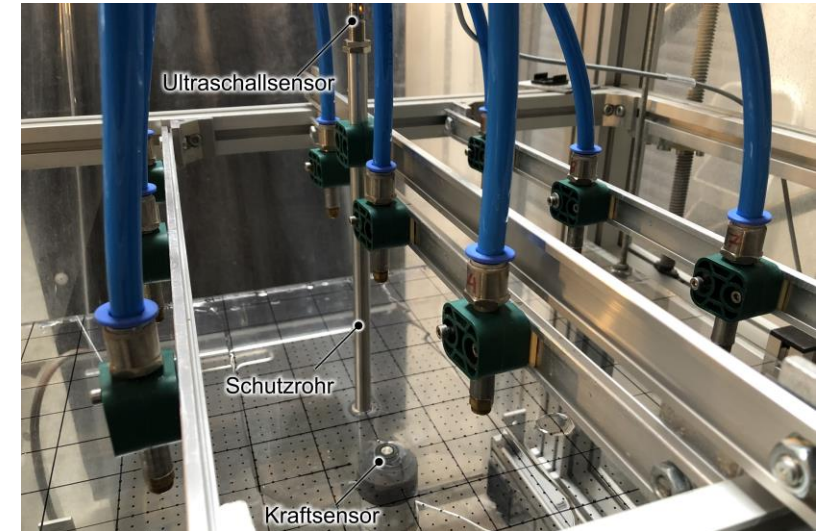
- Wie beeinflussen sich die Düsen untereinander?
- Welche Strömung bildet sich auf der Bandoberfläche aus?
- Wie wird dadurch der Wärmeübergang beeinflusst?
- Welchen Einfluss haben die Parameter (Düsen, Düsenpositionierung, Bandgeschwindigkeit) auf die Ausbreitung des Stauwassers und auf den Wärmeübergang?
- Kann der Wärmeübergang durch gezielte Einstellung von unterschiedlichen Parametern gleichmäßig bzw. beeinflusst werden?

Versuchsaufbau IOB

- **Versuchsaufbau unbewegte Oberfläche**
 - Beaufschlagung einer Plexiglasplatte von oben
 - Düsenfeld mit variablem Abstand zwischen Düsen, Düsen/Oberfläche und Vordruck (bis 12 bar)

Unterschiedliche Messmethodiken verbaut:

- **Auftreffimpuls**
 - Bestimmung des Auftreffimpuls an beliebigem Punkt im Aufbau möglich
- **Ultraschallsensor**
 - Bestimmung der Wasserberghöhe an beliebigem Punkt im Aufbau möglich
- **Patternator**
 - Bestimmung der Beaufschlagungsdichte
- **Optische Messmethodik**
 - Bestimmung der Strömungsbildung



Versuchsaufbau IOB

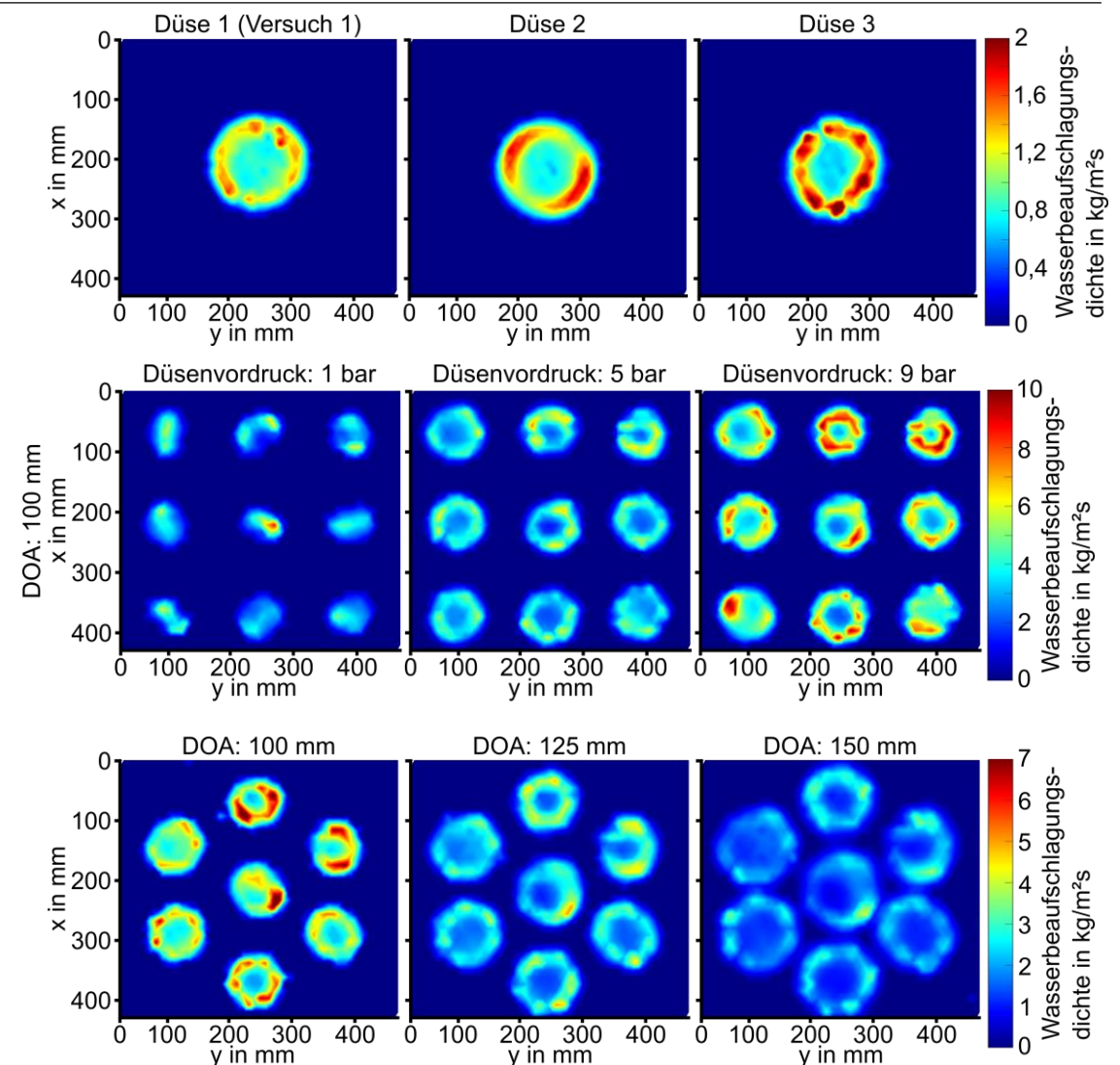
- **Versuchsaufbau bewegte Oberfläche**
 - Beaufschlagung eines umlaufenden Band von oben bzw. unten
 - Düsenfeld mit variablem Abstand zwischen Düsen, Düsen/Oberfläche und Vordruck (bis 12 bar)
 - Bandgeschwindigkeit anpassbar
- Ebenfalls unterschiedliche Messmethodiken verbaut:
 - Ultraschall
 - Optische Messung
- Bestimmung der Auswirkungen der Bandgeschwindigkeit auf die Strömungsbildung



Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse

Beaufschlagungsdichte

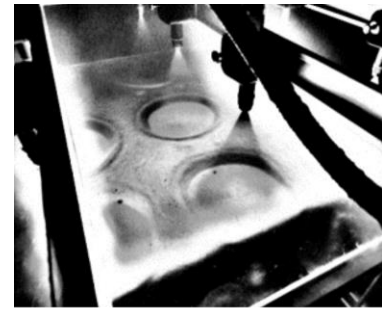
- Einzeldüsen und Düsenfelder vermessen
- Variation der relevanten Einflussparameter ermittelt
 - Düsenvordruck: starker Anstieg der Beaufschlagungsdichte, geringer Anstieg des Kegeldurchmessers
 - Düsen-Oberflächen-Abstand: geringere Beaufschlagungsdichte, Anstieg des Kegeldurchmessers
 - Düsen-Düsen-Abstand/Düsenanordnung: Überlappung der Sprühkegel sichtbar
- Charakteristisches Sprühbild der Düsen bei 1 bar noch nicht ausgebildet



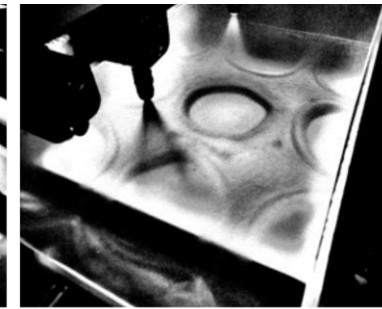
Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse

Optische Messmethodik

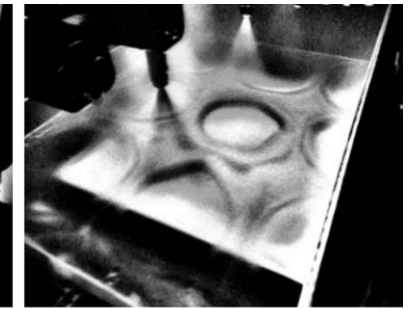
- Untersuchung von Düsenfeldern in fluchtender und versetzter Anordnung
 - Qualitative Bewertung der vorliegenden Strömung
 - Quantitative Bestimmung der Kesseldurchmesser
- Ebenfalls Einfluss der relevanten Einflussparameter untersucht
 - Düsenvordruck: leichter Anstieg der sichtbaren Turbulenzen, leichter Anstieg des Kesseldurchmessers
 - Düsen-Oberflächen-Abstand: deutlicher Anstieg der sichtbaren Turbulenzen, Anstieg des Kesseldurchmessers bis Maximum
 - Düsen-Düsen-Abstand/Düsenanordnung: deutlichster Anstieg der sichtbaren Turbulenzen bei geringerem Abstand zwischen Düsen



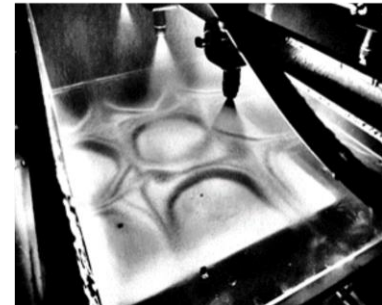
DOA: 100 mm



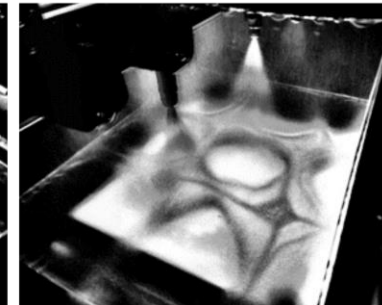
DOA: 120 mm



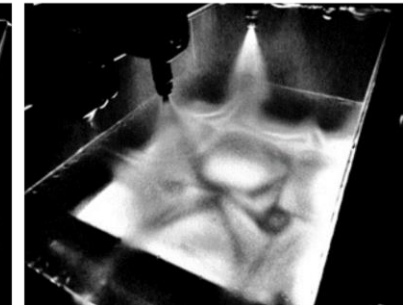
DOA: 140 mm



DOA: 160 mm



DOA: 180 mm



DOA: 200 mm



DOA: 100 mm



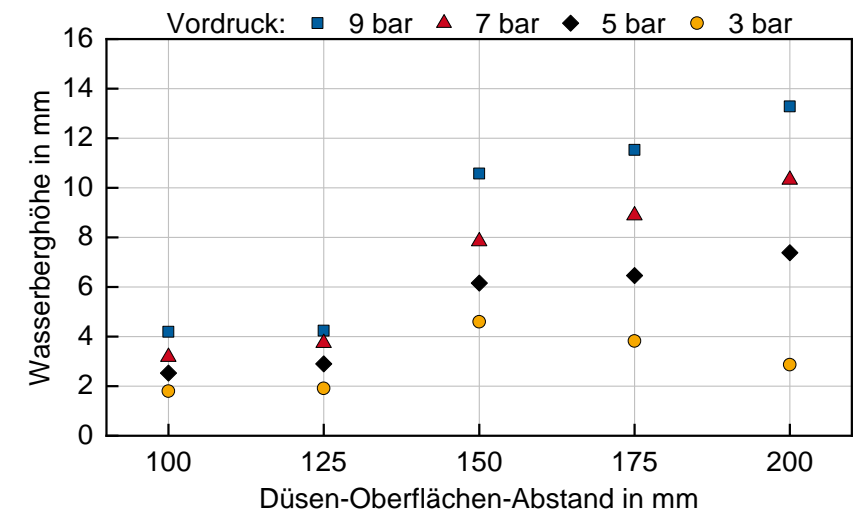
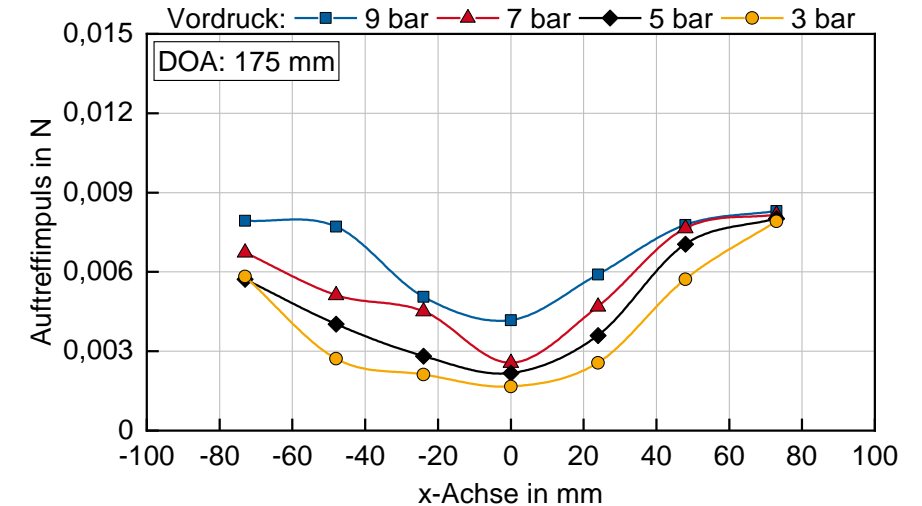
DOA: 125 mm



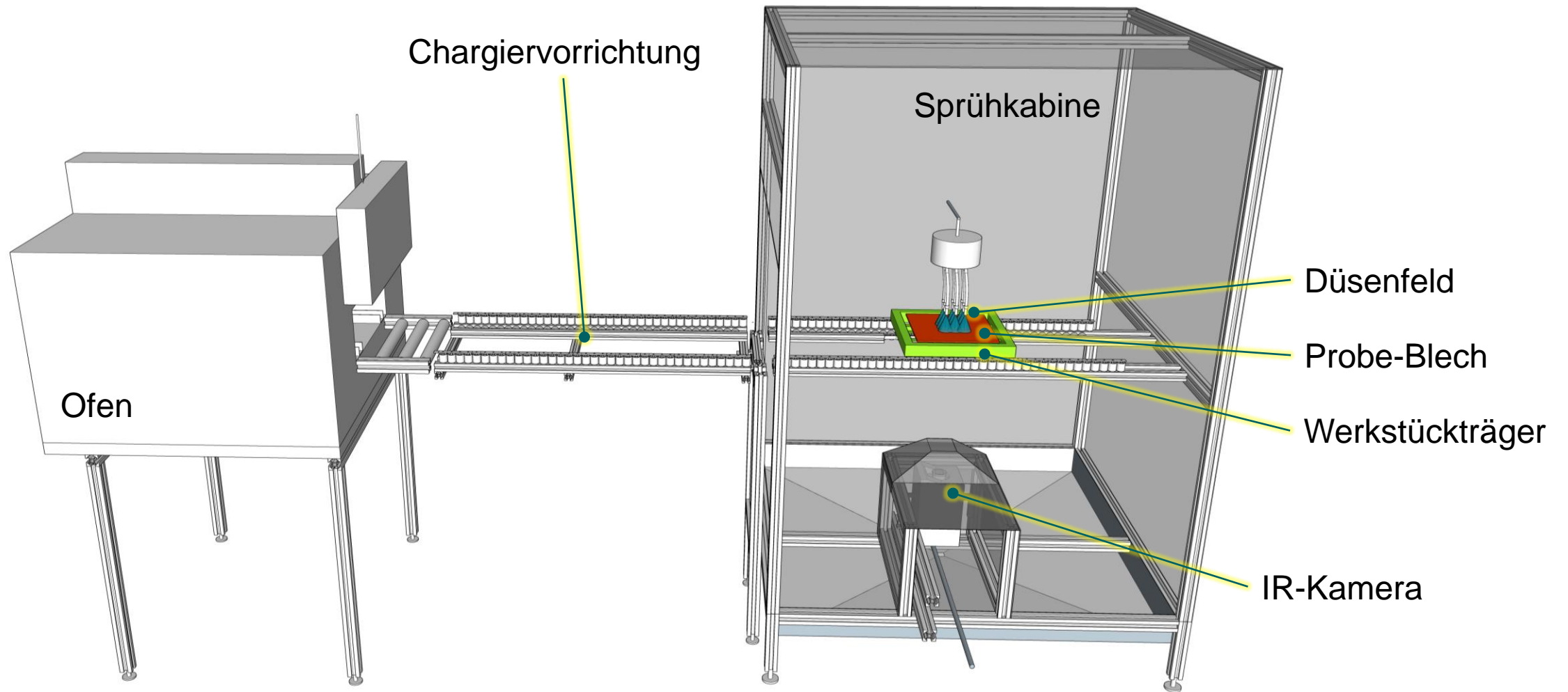
DOA: 150 mm

Auftreffimpuls & Wasserhöhe

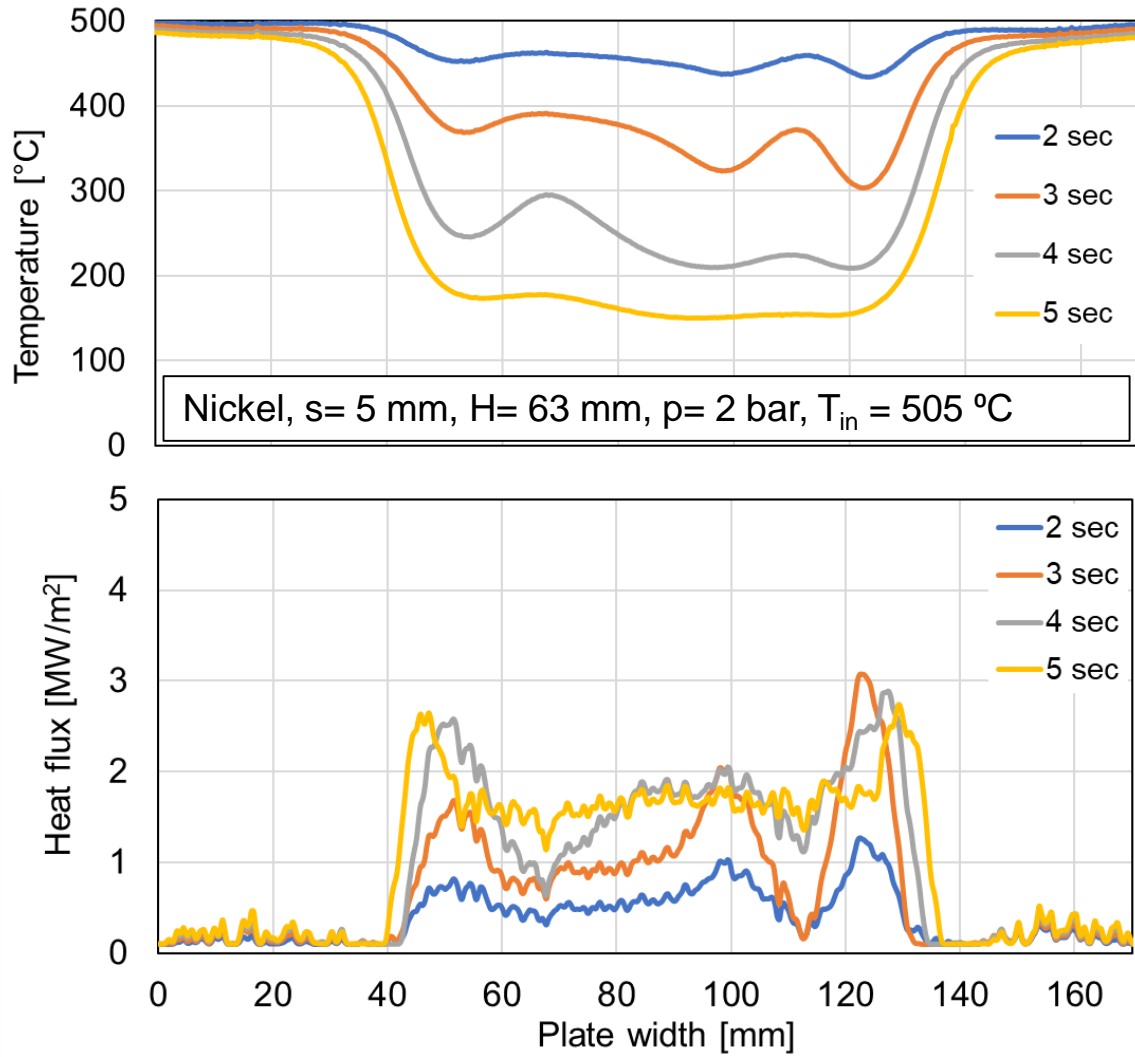
- Auftreffimpuls für Einzeldüsen und Düsenfelder untersucht
 - Korrelation mit der Beaufschlagungsdichte möglich für Einzeldüsen vollständig möglich
 - Im Düsenfeld ist die Bildung von Wasserbergen anhand des Auftreffimpulses zu erkennen
 - Keine direkte Beaufschlagung der Oberfläche durch Tropfen
 - Stattdessen wird der Wasserfilm gemessen (Kraftsensor verwendet)
- Wasserberghöhen im versetzten und fluchtenden Düsenfeld im Bereich zwischen zwei Düsen ermittelt
 - Linearer Anstieg mit steigendem Düsen-Oberflächen-Abstand
 - Ausnahme 3 bar: charakteristisches Sprühbild eventuell nicht vollständig ausgebildet



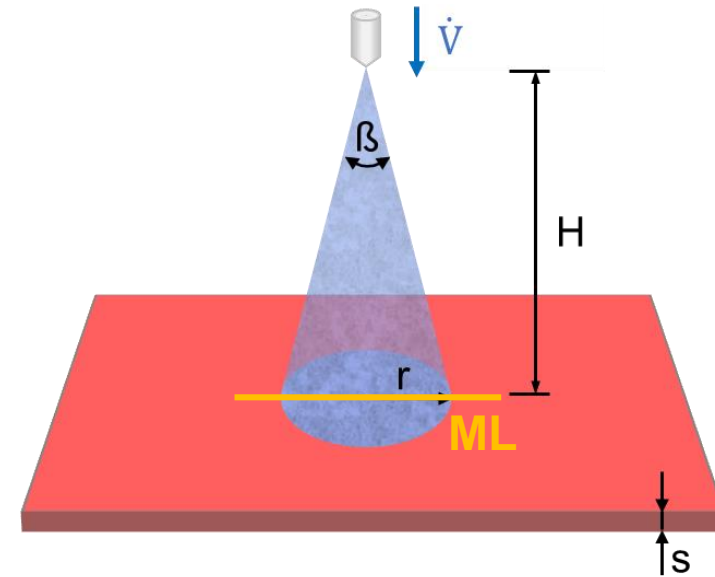
Versuchsstand LTV



Wärmeübergang an stationären Blechen (Nickel, s= 5 mm)



Einzelvollkegeldüse

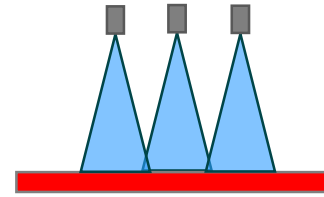
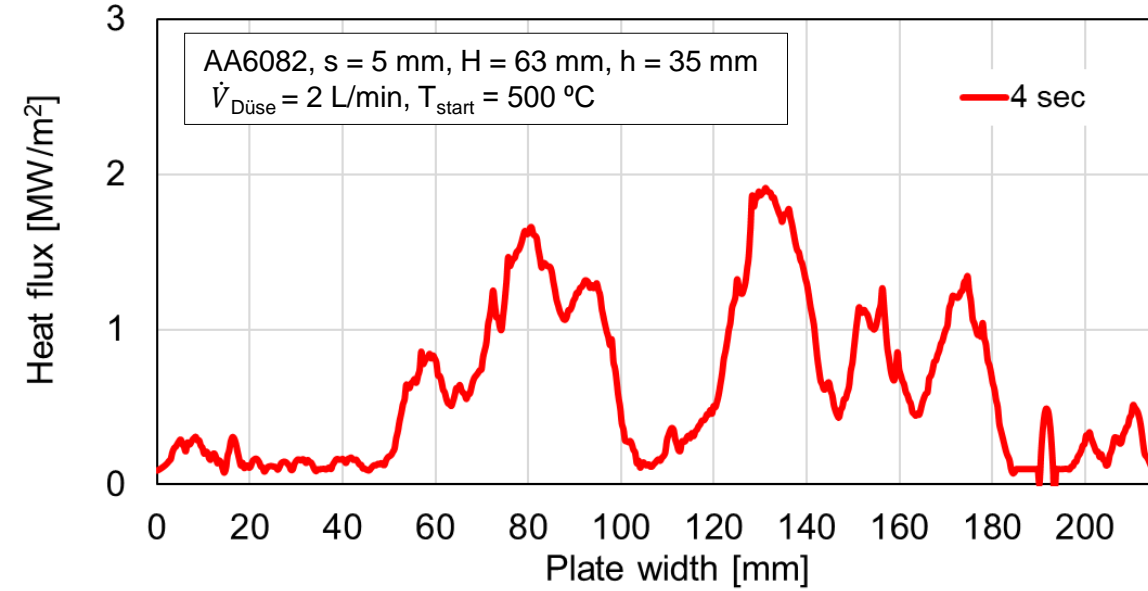
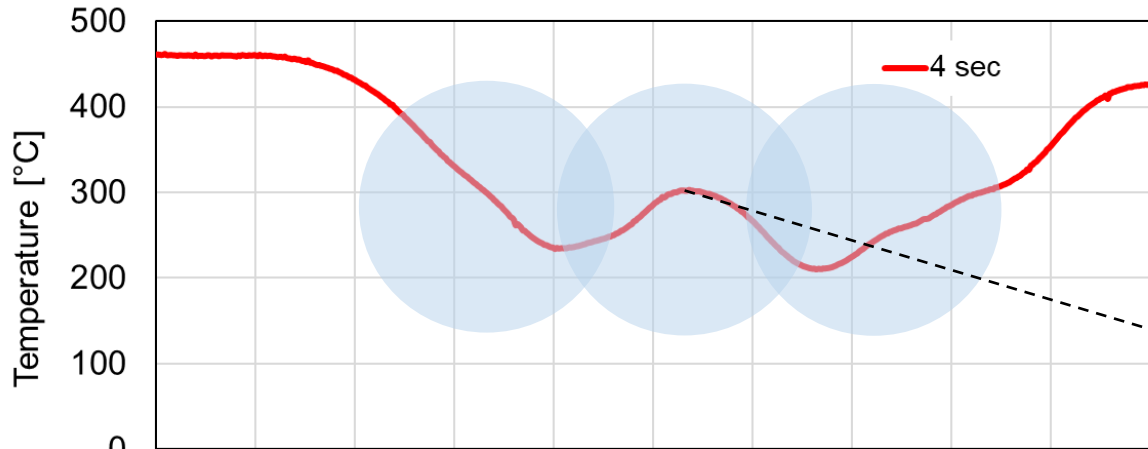


$p = 2 \text{ bar } (\dot{V}_{\text{Düse}} = 2 \text{ l/min})$

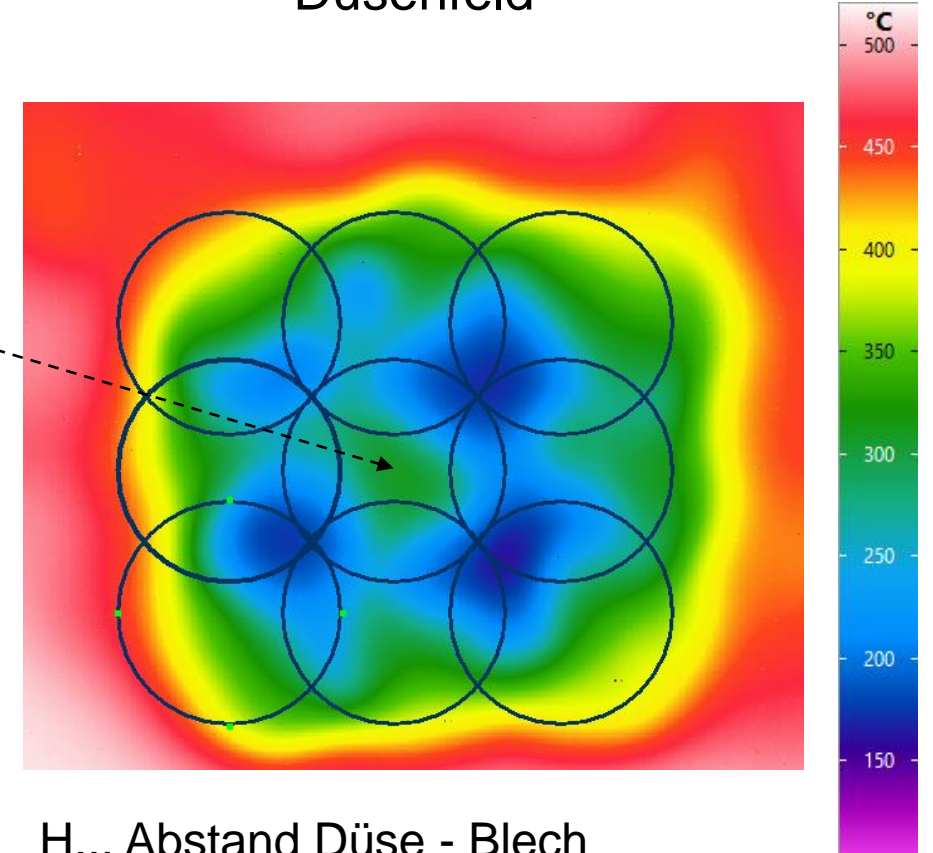
$h \dots$ Abstand Düse - Düse

$H \dots$ Abstand Düse - Blech

Wärmeübergang an stationären Blechen (AA6082, s= 5 mm)



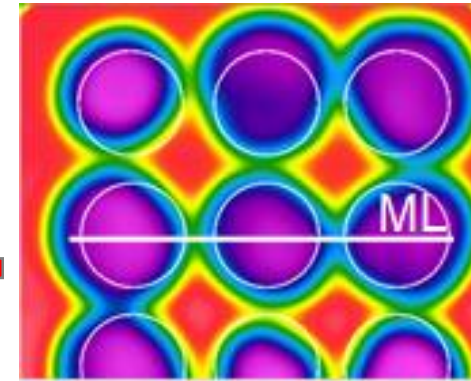
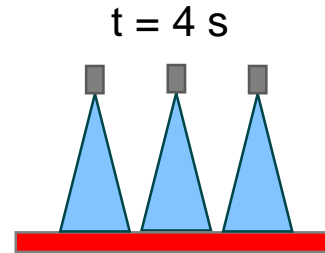
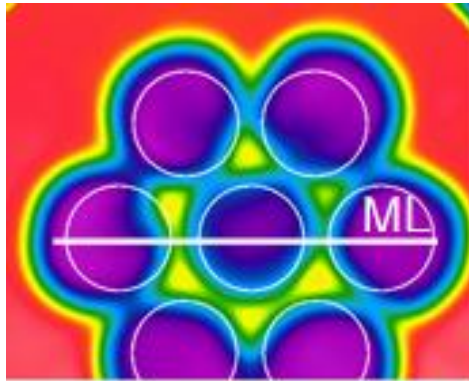
Düsenfeld



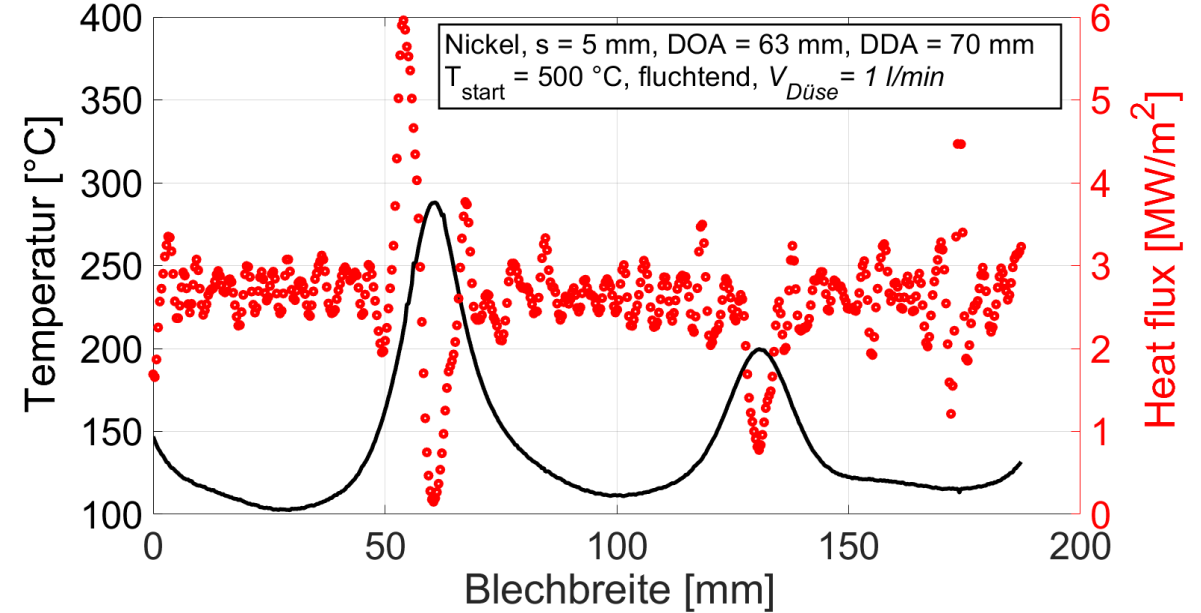
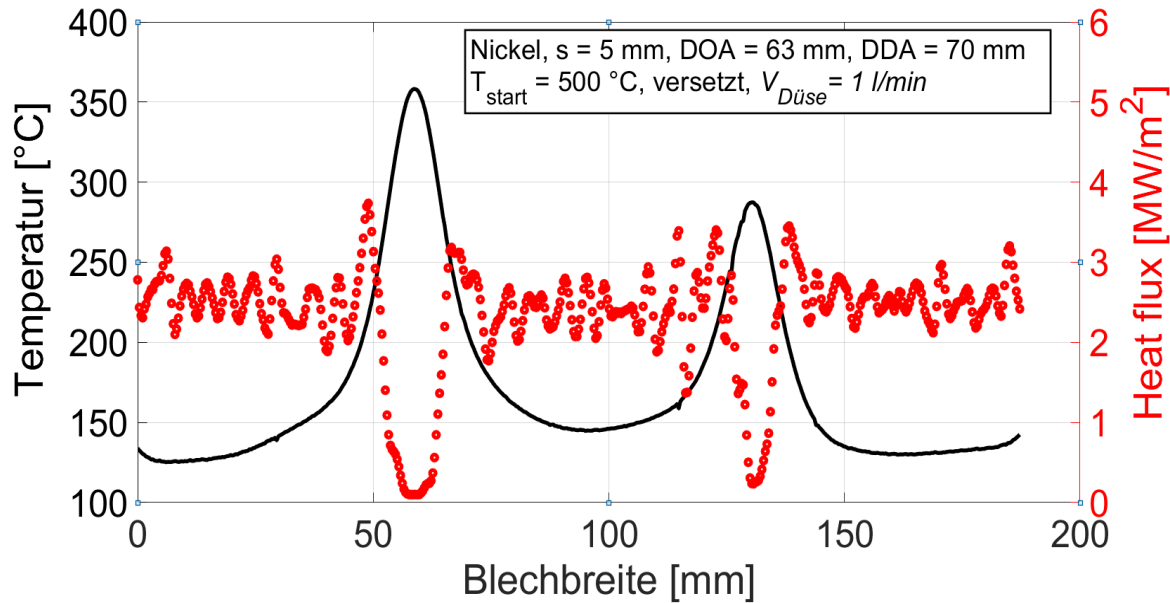
H... Abstand Düse - Blech
 h... Abstand Düse - Düse

Wärmeübergang an stationären Blechen – Einfluss der Düsenanordnung

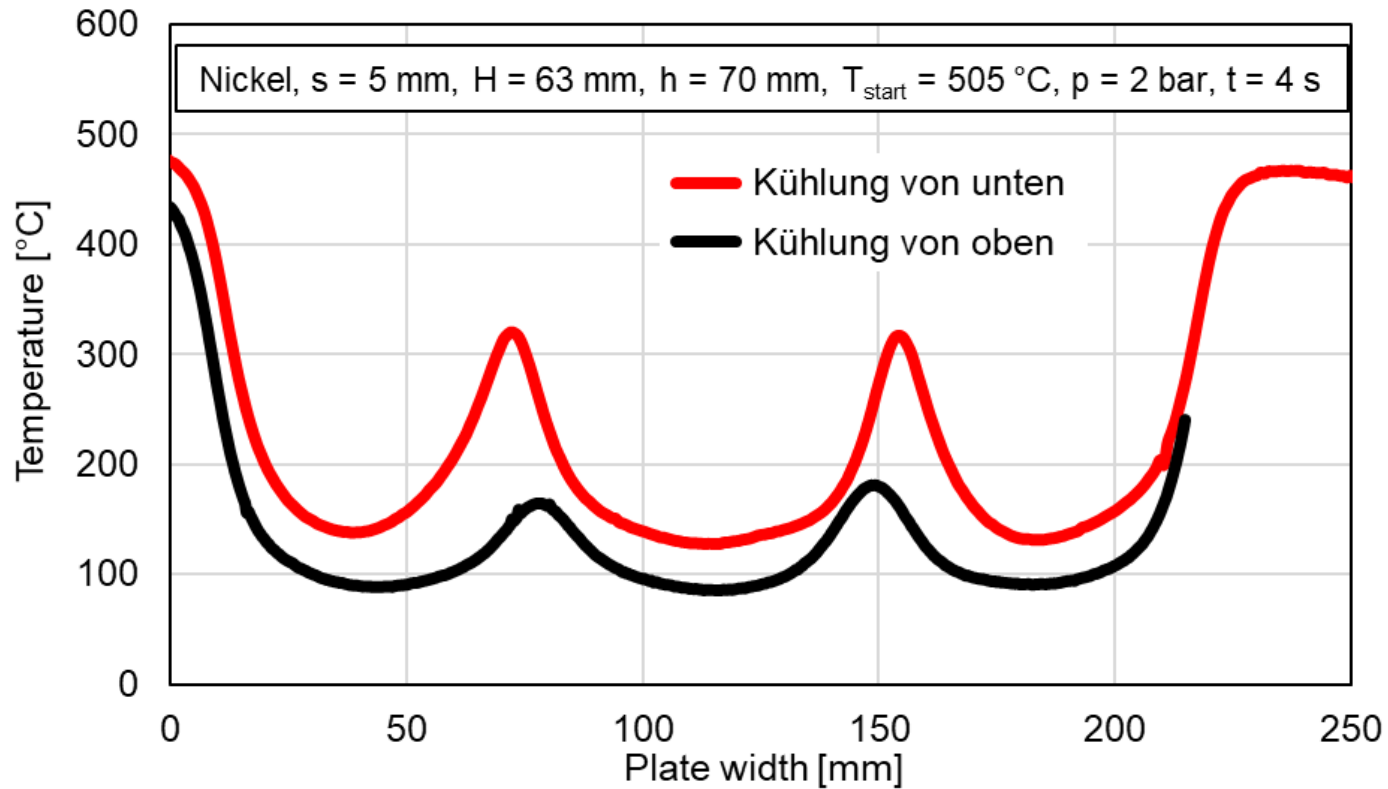
Versetztes Düsenfeld
(7x Vollkegeldüse)



Fluchtendes Düsenfeld
(9x Vollkegeldüse)

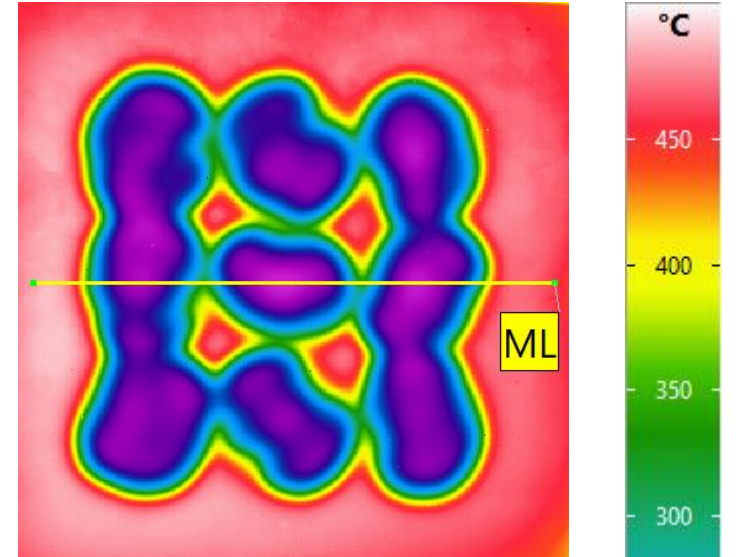


Einfluss der Kühlseite (stationäres Blech)

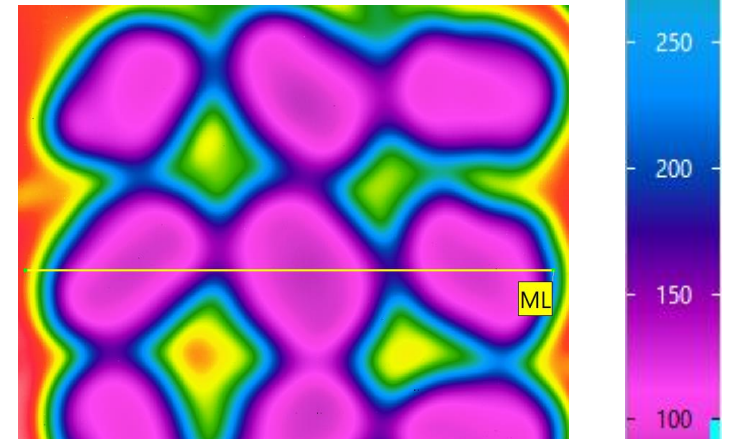


$p = 2 \text{ bar}$ ($\dot{V}_{\text{Düse}} = 2 \text{ l/min}$)

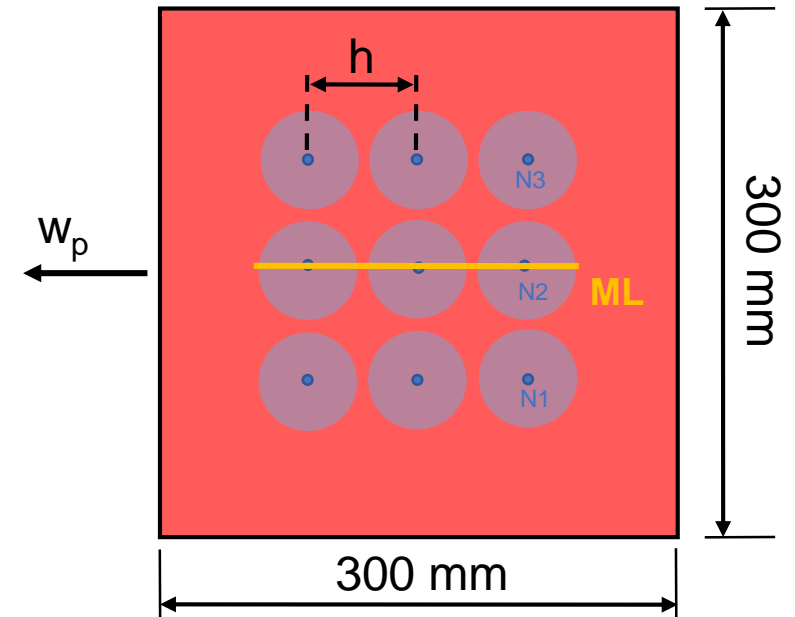
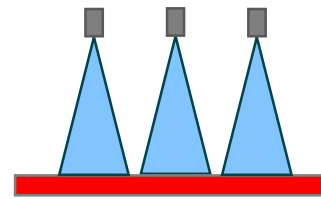
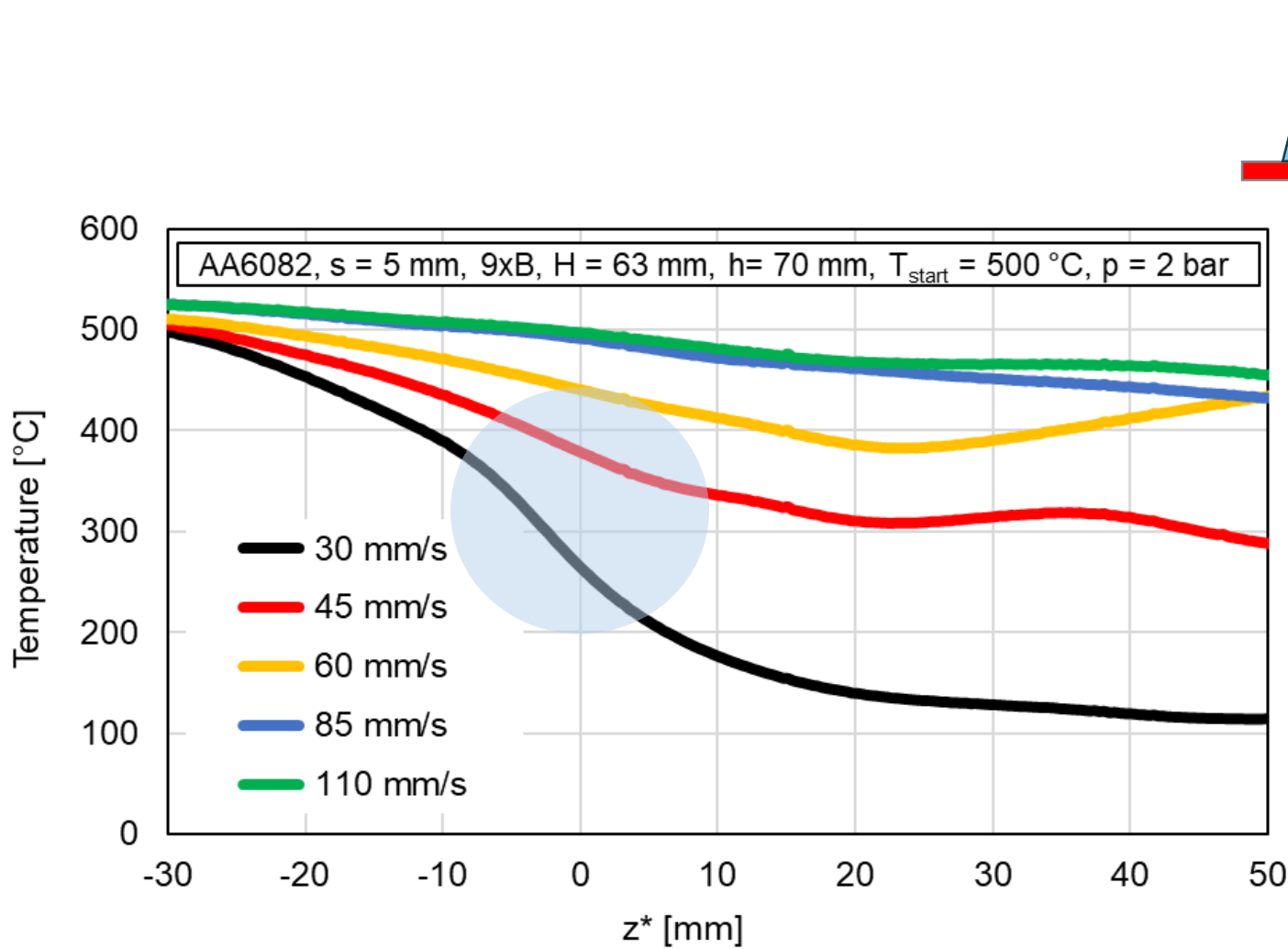
Kühlung von unten



Kühlung von oben



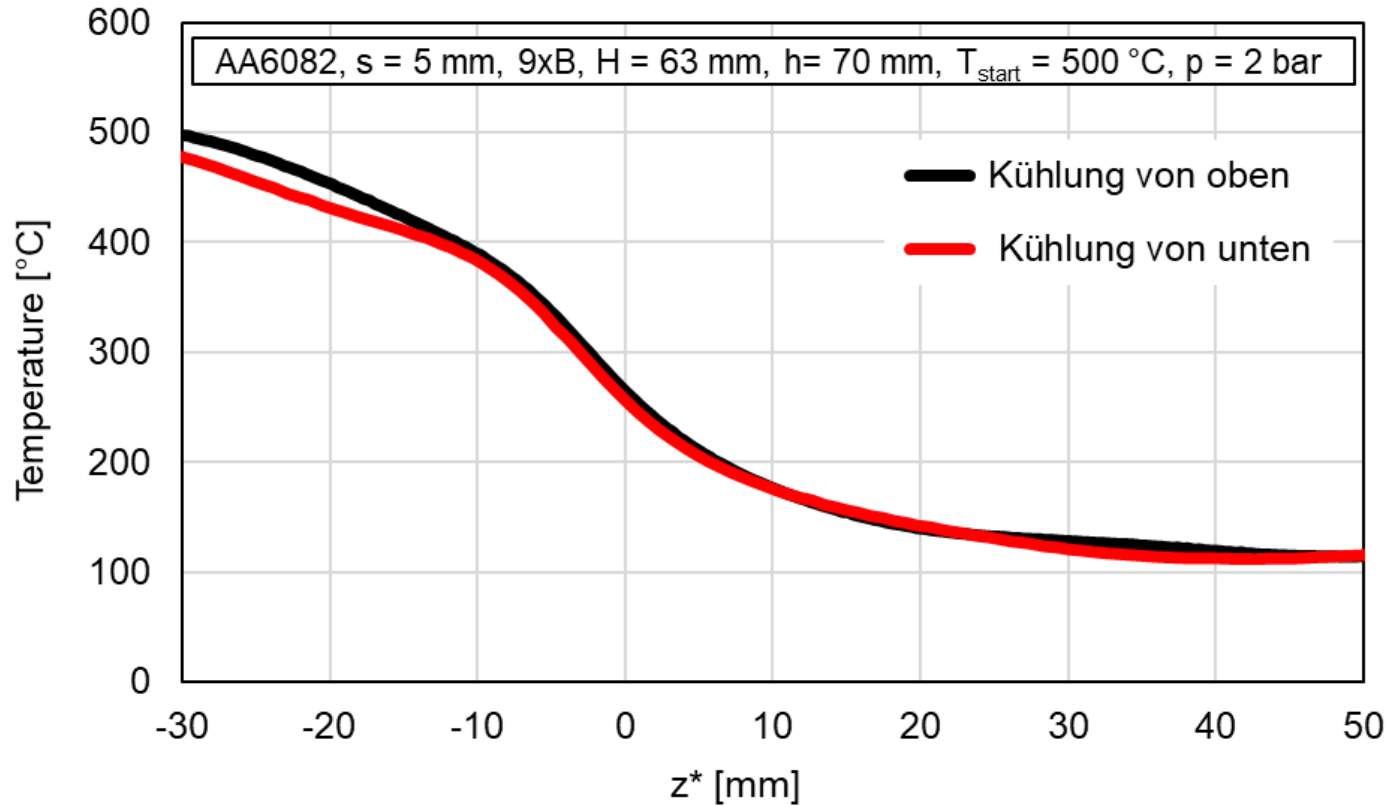
Einfluss der Blechgeschwindigkeit



p = 2 bar ($\dot{V}_{\text{Düse}} = 2 \text{ l/min}$)

w_p .. Blech Geschwindigkeit (mm/s)

Einfluss der Kühlseite (bewegtes Blech, $w_p = 30 \text{ mm/s}$)

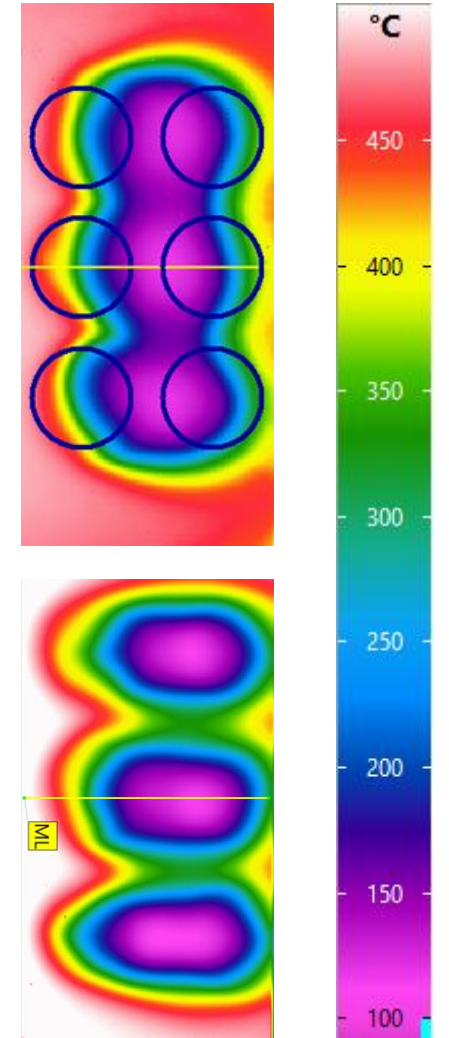


$p = 2 \text{ bar}$ ($\dot{V}_{\text{Düse}} = 2 \text{ l/min}$)

Kühlung
von unten

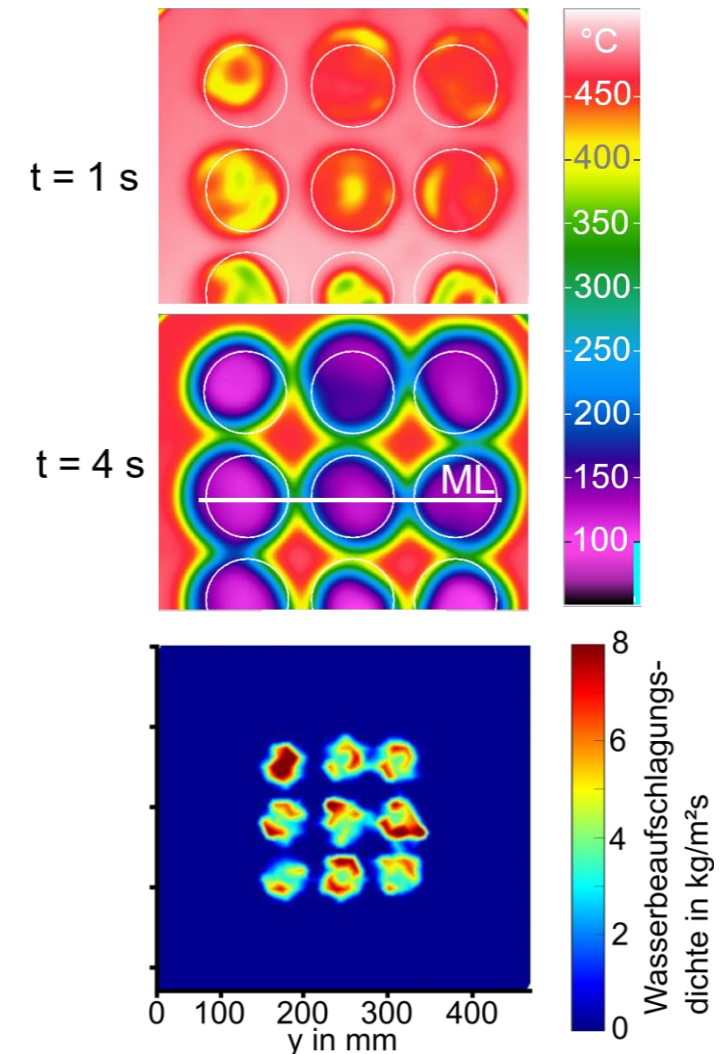


Kühlung
von oben



Korrelation der Messergebnisse beider Forschungsstellen

- Untersuchungen an beiden Forschungsstellen mit identischen Parametern durchgeführt
 - Düsen-Düsen-Abstand: 70 mm
 - Düsen-Proben-Abstand: 63 mm
 - Düsenvordruck: 2 bar
- Einfluss der Sprühbilder der jeweiligen Düsen während der Abkühlung zu erkennen
 - Speziell zu Beginn der Abkühlung ($t = 1$ s)
 - Kein Ausgleich durch Wärmeleitung
 - Ringförmiger Bereich mit erhöhter Beaufschlagungsdichte
- Einfluss der Strömung bei größerer Abkühldauer ($t = 4$ s) sichtbar
 - Schnellere Abkühlung in Bereichen mit freier Abströmung
 - Direkte Beaufschlagung
 - Geringe Abkühlgeschwindigkeit zwischen jeweils 4 Düsen (Stauwasser)
 - Keine direkte Beaufschlagung



Zusammenfassung

- Untersuchung des Wärmeübergangs und der Strömung auf horizontalen Oberflächen in Sprühdüsenfeldern
 - Abkühlung horizontaler geführter Bleche von der Oberseite/Unterseite durchgeführt
 - Berechnung der resultierenden Wärmestromdichten
 - Variation der relevanten Düsen bzw. Düsenfeldparameter sowie Werkstoffe
- Entwicklung unterschiedlicher Messverfahren zur Beschreibung der Strömung entwickelt
 - Qualitative und quantitative Untersuchung möglich
 - Variation der relevanten Parameter
 - Einfluss der Strömung auf die direkte Beaufschlagung der Oberfläche nachgewiesen
- Vergleich zwischen Abkühlung und Strömung zeigt den Einfluss einer unterschiedlichen Beaufschlagung bzw. Strömungsbildung im Düsenfeld
 - Definition eines optimalen Düsenfelds aber komplex

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr.-Ing. Jan Hof

Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik
RWTH Aachen University
Kopernikusstr. 10
52074 Aachen

Tel.: +49 241 80 26069

E-Mail: hof@iob.rwth-aachen.de

Thinking the Future
Zukunft denken



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages